

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

Pneumatické rotační motory v pohonech strojů

Pneumatic Rotary Motors in Machine Drives

Student:

Martin Zanina

Vedoucí ročníkového projektu:

prof. Ing. Jaroslav Kopáček, CSc.

Ostrava 2012

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

Zadání bakalářské práce

Student: **Martin Zanina**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2302R007 Hydraulické a pneumatické stroje a zařízení
Téma: Pneumatické rotační motory v pohonech strojů
Pneumatic Rotary Motors in Machine Drives

Zásady pro vypracování:

Vypracujte studii o uplatnění pneumatických rotačních motorů v pohonech strojů a zařízení. V rámci studie se zaměřte na tyto otázky:

1. účel pohonu, jeho skladba, typy motorů a převodů,
2. pneumatické rotační motory, jejich výhody a nedostatky při srovnání s jinými typy motorů,
3. základní parametry různých typů pneumatických rotačních motorů,
4. charakteristiky pneumatických motorů: závislosti výkonu, momentu a spotřeby vzduchu na otáčkách,
5. aplikace pneumatických rotačních motorů podle typů a podle strojů a zařízení.

Seznam doporučené odborné literatury:

KOPÁČEK, J. *Pohony a převody*. Ostrava : VŠB - TUO, 2000. 211 s. ISBN 80-7078-806-2
KOPÁČEK, J. *Pneumatické mechanismy díl 1. – Pneumatické prvky a systémy*. Ostrava: VŠB-TUO, 1996. 267 s. ISBN 80-7078-306-0
KOPÁČEK, J. Pneumatické motory – jejich možnosti a použití. In *Strojírenská výroba*. Roč. 1975, č. 1
PIVOŇKA, J. a kol. *Tekutinové mechanismy*. - Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1987.- 623 s.
Autorenkollektiv. *Handbuch Drucklufttechnik*. Leipzig : Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 1986. 324 s. ISBN 3-342-00079-1
ANDERSON, S.B. *Pneumatik-Kompendium*. Düsseldorf : VDI-Verlag, 1977. 242 s. ISBN 3-18-400379-5
Пневматические ручные машины: справочник. Москва: Машиностроение, 1968
Prospekty a katalogy firem: Düsterloh, KOEXPRO Ostrava, PD profi Ostrava, Deprag, Parker, Tonson a další

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Jaroslav Kopáček, CSc.**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012

Kozubková

prof. RNDr. Milada Kozubková, CSc.
vedoucí katedry



Farana

prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 21. května 2012



.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na svědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 21. května 2012



.....
Podpis

Jméno a příjmení autora práce: Martin Zanina

Adresa trvalého pobytu autora práce: Tovární 19, Moravská Třebová 571 01

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

ZANINA, M. *Pneumatické rotační motory v pohonech strojů: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, 2012, 46 s. Vedoucí práce: Kopáček, J.

Bakalářská práce se zabývá různými aplikacemi pneumatických rotačních motorů. Úvodní část práce je věnována účelu pohonu a jeho skladbě. V následující části jsou rozebrány jednotlivé typy pneumatických rotačních motorů a to jak jejich funkce, tak jejich výhody a nedostatky a porovnání s jinými typy motorů. Další část uvádí základní parametry pneumatických rotačních motorů a jejich charakteristiky. Závěrečná část je věnována uplatnění pneumatických rotačních motorů v pohonech strojů a zařízení.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

ZANINA, M. *Pneumatic rotary motors in machine drives: bachelor thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Hydromechanics and Hydraulics Equipment, 2012, 46 p. Thesis head: Kopáček, J.

This Bachelor thesis deals with various applications of pneumatic rotary engines. The introductory part is devoted to the purpose of the drive and its composition. The following section is focused on different types of pneumatic rotary engines and how their functions and their advantages and disadvantages and a comparison with other types of engines. Another section lists the basic parameters of the pneumatic rotary engines and their characteristics. The final section is devoted to the application of pneumatic rotary engine drives the machinery and equipment.

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů.....	8
0. Úvod.....	9
1. Účel pohonu strojů a zařízení.....	10
1.1. Skladba pohonu.....	10
1.2. Typy motorů a převodů.....	11
1.3. Zatěžovací charakteristiky poháněných strojů.....	11
2. Pneumatické rotační motory	14
2.1. Typy motorů	14
2.1.1. Pístové pneumatické motory	14
2.1.2. Zubové pneumatické motory	15
2.1.3. Lamelové pneumatické motory	17
2.2. Jejich výhody a nedostatky při srovnání s jinými typy.....	19
3. Základní parametry různých typů pneumatických rotačních motorů	22
4. Charakteristiky pneumatických rotačních motorů	24
4.1. Závislost výkonu na otáčkách.....	26
4.2. Závislost momentu na otáčkách.....	26
4.3. Závislost spotřeby vzduchu na otáčkách	27
4.4. Komplexní charakteristika.....	29
5. Aplikace pneumatických rotačních motorů	31
5.1. Podle typů motorů.....	31
5.2. Podle strojů a zařízení.....	36
6. Závěr	44
7. Seznam použité literatury.....	45

Seznam použitých značek a symbolů

Symbol	Význam	Jednotky
D	průměr	m
H	zdvih	m
L	délka	m
M	moment	N·m
M_0	moment třecích a pasivních odporů	N·m
M_z	moment zátěže	N·m
M_{zn}	jmenovitý zátěžný moment	N·m
P	výkon	W
P_z	výkon při zatížení	W
Q	spotřeba vzduchu	m ³ ·min ⁻¹
Q_N	spotřeba vzduchu	m ³ ·min ⁻¹
R	poloměr	m
V	objem	m ³
V_g	geometrický objem	m ³
a	tloušťka	m
e	excentricita	m
m	modul ozubení	m
n	otáčky	min ⁻¹
n_n	jmenovité otáčky	min ⁻¹
n_z	otáčky při zatížení	min ⁻¹
p	tlak	Pa
p_{it}	indikovaný tlak	Pa
q	specifická spotřeba vzduchu	N m ³ ·min ⁻¹ ·kW ⁻¹
r	poloměr	m
t	čas	s
x	exponent	-
α, β	úhel	°
δ	stupeň plnění	-
η	účinnost	-
λ	opravný součinitel	-
π	Ludolfovo číslo	-

0. Úvod

Pneumatické rotační motory v dnešní době vyrábí celá řada světových firem, jako jsou Parker, Tonson, Deprag atd. A proto se snažím v této práci zaměřit na jednotlivé typy motorů, popsat jejich funkci, výhody a nevýhody a také jejich důležité pracovní charakteristiky, které se zatížením mohou měnit. Dále se má práce soustředit na využití a aplikace těchto pneumatických rotačních motorů v širokém odvětví průmyslu, které mohou mít v dnešní době veliké množství uplatnění.

1. Účel pohonu strojů a zařízení

Veškeré pracovní stroje nebo výrobní zařízení musí mít ke svému výkonu pohon. Podle různých pracovních mechanismů může pohon být:

- k přenosu kinematiky pracovního pohybu bez nároků na silový přenos (např. různé balicí a montážní stroje a automaty),
- k silovému přenosu v pracovním mechanismu bez nároků na kinematické vazby (využívá se toho u trvale pracujících pohonů, např. napájecí čerpadla, kompresory apod.),
- k realizaci kombinovaného přenosu v pracovním mechanismu s požadavkem jak na kinematiku, tak i na silový přenos (využívá se tohoto u strojů pro zemědělství, zemní a stavební práce a u celé řady dalších strojů, např. textilní stroje, válcovací zařízení, důlní a povrchové stroje pro těžbu uhlí apod.) [1].

Podle pohybu výstupního členu bude pohon:

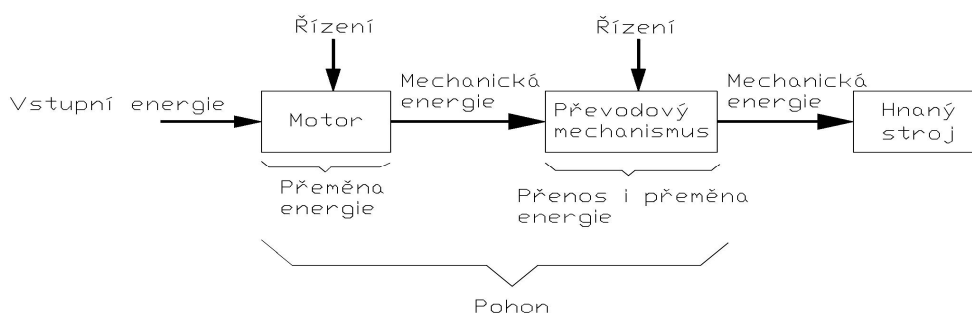
- s rotačním pohybem,
- s přímočarým pohybem,
- s kývavým pohybem [1].

Avšak pohony s rotačním pohybem jsou nejvíce rozšířeným typem v celé řadě praktických aplikací.

1.1. Skladba pohonu

Pohon je zařízení pro přeměnu energie, které uvádí stroj nebo pracovní mechanismus do pohybu, součástí pohonu je i převodový mechanismus.

Skladba pohonu je znázorněná na obr. 1.1 [1].



Obr. 1.1 Blokové schéma pohonu

1.2. Typy motorů a převodů

V motoru probíhá přeměna primární energie – chemické (tekutá a plynná paliva) nebo elektrické v energii mechanickou. V ostatních případech se k přeměně na mechanickou energii využívá sekundární energie tlakové kapaliny, nebo stlačeného vzduchu [1].

Podle druhu měniče energie – motoru rozeznáváme:

- spalovací motory,
- elektrické motory,
- hydraulické motory,
- pneumatické motory [1].

Převodový mechanismus jako součást pohonu může být vytvořen:

- mechanickými převody,
- hydrostatickými převody,
- hydrodynamickými převody,
- elektrickými převody,
- kombinovanými převody [1].

1.3. Zatěžovací charakteristiky poháněných strojů

Zatěžovací charakteristiky jsou dány momentem zátěže a pasivními odpory stroje či pracovního mechanismu. Charakter změn zatěžovacího momentu je kritériem, podle něhož můžeme rozdělit veškeré poháněné stroje a mechanismy do dvou skupin [1].

První skupina zahrnuje mechanismy a stroje, u nichž moment zátěže M_z závisí na rychlosti či otáčkách. Tato závislost lze popsat obecným vztahem

$$M_z = M_0 + (M_{zn} - M_0) \cdot \left(\frac{n_z}{n_n} \right)^x \quad (1.1)$$

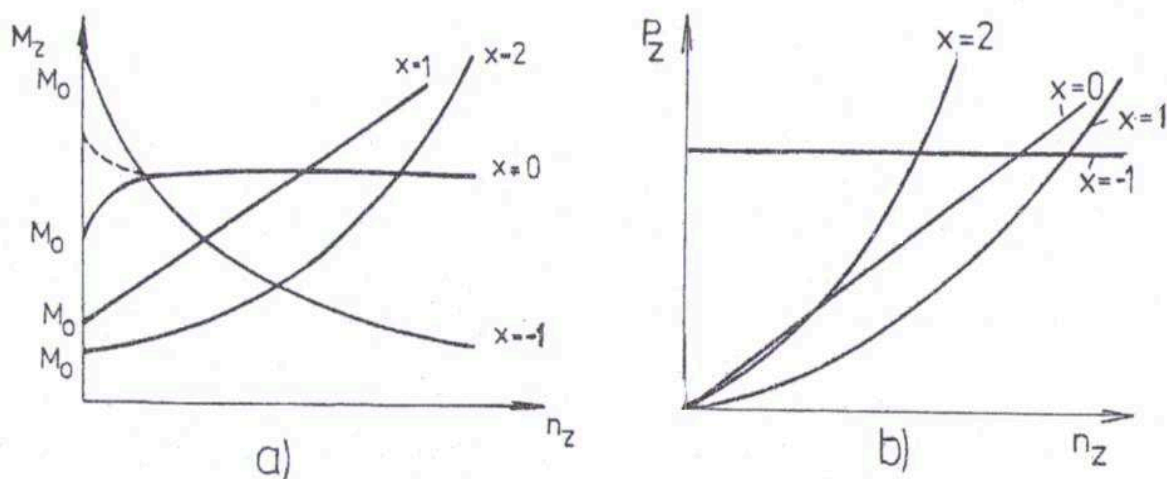
kde M_0 je moment třecích sil a pasivních odporů při chodu stroje naprázdno nebo to může být klidový moment (zátěžový moment při otáčkách $n = 0$), M_{zn} je jmenovitý zátěžný moment stroje při jmenovitých otáčkách n_n , n_z jsou otáčky při zatížení a x je exponent [1].

Dosadíme-li za exponent $x = 0, 1, 2, -1$ dostaneme několik základních průběhů zatěžovacích charakteristik pracovních strojů:

- při $x = 0$ zátěžný moment je nezávislý na otáčkách, tato zatěžovací charakteristika přísluší zdvihacím zařízením, např. jeřábu, výtahu, tažnému vrátku a také pístovému stroji (kompresor), jejichž pasivní moment se nepatrně mění s otáčkami,
- při $x = 1$ je zatěžovací charakteristika lineární a je typická pro mísící stroje (pryž, papírovina, úprava tkanin apod.),
- při $x = 2$ zátěžný moment se zvětšuje kvadraticky s otáčkami, křivka je parabolou, což je typická charakteristika stroje, pracující na principu odstředivosti (ventilátory, odstředivá čerpadla, odstředivky),
- při $x = -1$ tato charakteristika má průběh hyperbolický a je typická pro samojízdné stroje (trakční charakteristika) a pro navíjecí zařízení [1].

Rovnice (1.1) umožňuje výpočet průběhu zatěžovací charakteristiky daného typu stroje podle exponentu x , známe-li, nebo dovedeme-li vypočítat klidový moment M_0 a jmenovitý zátěžný moment M_{zn} [1].

Soubor charakteristik $M_z(n_z)$ pro různé exponenty x je na obr. 1.2 [1].

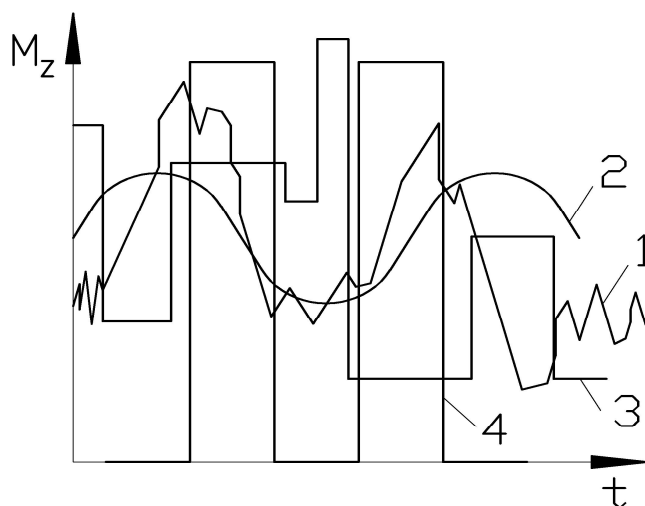


Obr. 1.2

a – charakteristika $M_z(n_z)$, b – charakteristika $P_z(n_z)$

Do druhé skupiny patří pracovní stroje a mechanismy, u kterých se zátěžný moment mění v závislosti na čase. Tato změna je nejčastěji dána technologickým režimem práce stroje či mechanismu a je charakterizována buď náhodným průběhem zatížení, pulzujícím zatížením, proměnlivým zatížením nebo přerušovaným zatížením [1].

Soubor charakteristik $M_z(t)$ pro různé druhy zatížení je na obr. 1.3 [1].



Obr. 1.3

1 – náhodný průběh, 2 – pulzující průběh, 3 – proměnlivý průběh, 4 – přerušovaný průběh

2. Pneumatické rotační motory

Jak již výše byly uvedeny jednotlivé druhy motorů, tak se dále zaměřím pouze na pneumatické rotační motory, které jsou součástí mého téma bakalářské práce.

Pneumatické rotační motory tvoří součást pneumatických mechanismů, které používají k přenosu energie stlačeného vzduchu [3].

Protože stlačený vzduch za kompresorem je nositelem potencionální (tlakové) i kinetické energie, v pneumatických mechanismech se využívá obou druhů a podle toho je rozdělujeme na:

- pneumostatické (využívají tlakovou, popř. deformační energii stlačeného vzduchu),
- pneumodynamické (využívají jeho kinetickou energii) [3].

V pneumatických motorech se výhradně využívá tlaková nebo kombinovaná tlakově deformační energie [3].

2.1. Typy motorů

Pneumatické rotační motory spadají do kategorie objemových motorů, ve kterých se předává tlaková energie vzduchu na pohyblivý pracovní prvek (píst, bok zubu, lamela), který může vykonávat buď vratný, nebo rotační pohyb [2].

Mezi pneumatické motory s rotačním pohybem prvku, který vykonává práci, patří motory lamelové, zubové a pístové motory a tyto následně popíši [2].

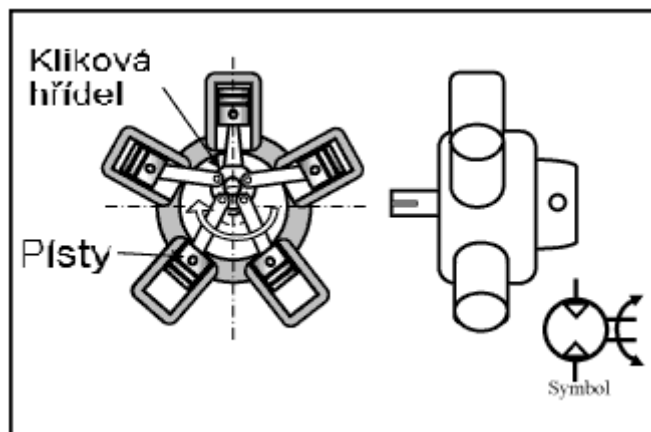
2.1.1. Pístové pneumatické motory

Pístové pneumatické motory mohou být dvou typů axiální a radiální, ale poměrně velké zastoupení na trhu mají radiální motory oproti axiálním pneumatickým pístovým motorům a dále se budu věnovat pouze radiálnímu pístovému pneumatickému motoru.

Motory využívají ke své práci vratných pohybů pístů. Válce jsou uspořádány okolo osy rotace motoru radiálně (hvězdicově). Pro přenášení pohybu se využívá klikového mechanismu, ten umožňuje dosáhnout vysokého záběrového momentu, nebo mechanismu s excentrem. Mimo tohoto nejrozšířenějšího uspořádání válců existují také pístové pneumatické motory s válci v řadě, v uspořádání do V, ploché motory s písty proti sobě a axiální pístové motory [3].

Složitost konstrukce těchto motorů je dána nutností přesného řízení průtoku stlačeného a odpadního vzduchu u jednotlivých válců. Nejčastěji se používá rotační válcové šoupátko, jehož pohyb je odvozen od pohybu hřídele motoru [2].

Princip činnosti radiálního pístového motoru je na obr. 2.1.1.



Obr. 2.1.1 Princip činnosti radiálního pístového motoru

2.1.2. Zubové pneumatické motory

Jsou konstrukčně velmi jednoduché a mají menší celkové rozměry než pístové motory stejného výkonu. Jejich výhodou je schopnost přetížení a až úplné zastavení bez jakýchkoliv následků. Nevýhodou je poměrně velký hluk při práci, velká hmotnost a větší měrná spotřeba vzduchu. Zubové motory jsou tvořeny dvěma ozubenými rotory, uloženými s nepatrnými čelními a obvodovými vůlemi ve skříni motoru. Ozubené rotory můžou mít zuby přímé, šikmé nebo šípové [3].

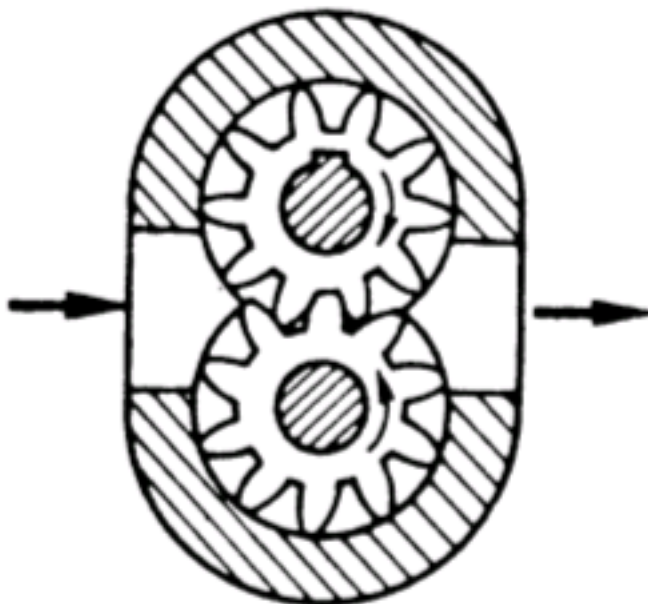
Motory s příkými a šikkými zuby pracují jako plnotlaké a smysl jejich otáčení můžeme měnit změnou přívodu a odvodu vzduchu, nebo mechanicky ozubeným převodem. Motory se šípovými zuby pracují s částečnou expanzí (s částečným plněním). Reverzace otáček u těchto motorů se provádí ozubeným převodem [2].

Motory se šikkými zuby mají řadu předností, mají menší rozměry (při stejném výkonu), velmi nízký měrný tlak v zubech a velký stupeň překrytí zubů. To způsobuje, že jsou méně hlučné a mají menší měrnou spotřebu vzduchu. Axiální síla, vznikající v ozubených rotorech, je zachycována v ložisku [3].

Motory se šípovým ozubením si tyto výhody zachovávají, mají větší celkovou účinnost a nevznikají v nich axiální síly [3].

Nejvíce se využívají pneumatické zubové motory jako pohony důlních strojů, kde není možno použít elektrické zařízení, jednak pro jednoduchou údržbu a možnost přetížitelnosti [3].

Princip činnosti zubového pneumatického motoru je znázorněn na obr. 2.1.2.



Obr. 2.1.2 Princip činnosti pneumatického zubového motoru

2.1.3. Lamelové pneumatické motory

Jsou ze všech typů motorů nejvíce rozšířeny, a to jednak pro své všestranné použití v pohonech ručních rotačních nástrojů, hlavně brusek a vrtaček. Jednoduchost konstrukce a malá hmotnost je umožňuje vestavět přímo do stroje. Lamelové motory se používají v rozsahu otáček od několika desítek až do několika tisíc. Mají velmi klidný chod, ale zejména vysokootáčkové motory jsou při práci hlučné [3].

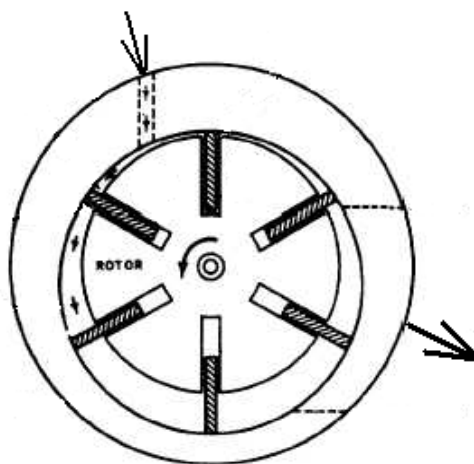
Jejich veliké rozšíření pro pohon ručních rotačních nástrojů je dáno především jejich bezpečným provozem, možností přetížení až k úplnému zastavení bez nebezpečí poškození a možností plynulého řízení otáček [3].

Rotor motoru je výstředně uložen ve statoru tak, aby v jednom místě byla jen nepatrná vůle utěšňovaná olejovým filmem. V podélných drážkách rotoru jsou umístěny lamely, a to buď kolmo k ose hřídele, nebo s ní pro zvětšení činné plochy svírají určitý úhel. Při otáčení motoru jsou lamely odstředivou silou vysouvány z drážek ke stěně statoru a rozdělují prostor mezi statorem a rotorem na jednotlivé komory. Stlačený vzduch je přiváděn otvorem ve statoru do prostoru, kde působí na činnou plochu lamely. V okamžiku, kdy další lamela překročí vstupní vzduchový otvor, působí na předcházející lamelu pouze tlak expandujícího vzduchu, uzavřeného v následujícím prostoru. Rozpínáním stlačeného vzduchu se přeměňuje tlaková energie na kinetickou a tím dochází k otáčení rotoru [2].

U tohoto typu motoru při běhu naprázdno vzniká nepřipustně velký počet otáček, aby se tomu zabránilo, lze použít odstředivého regulátoru. Jenž po dosažení maximální rychlosti přiškrcuje přívod vzduchu do té míry, že nastavený počet otáček se nemůže překročit [6].

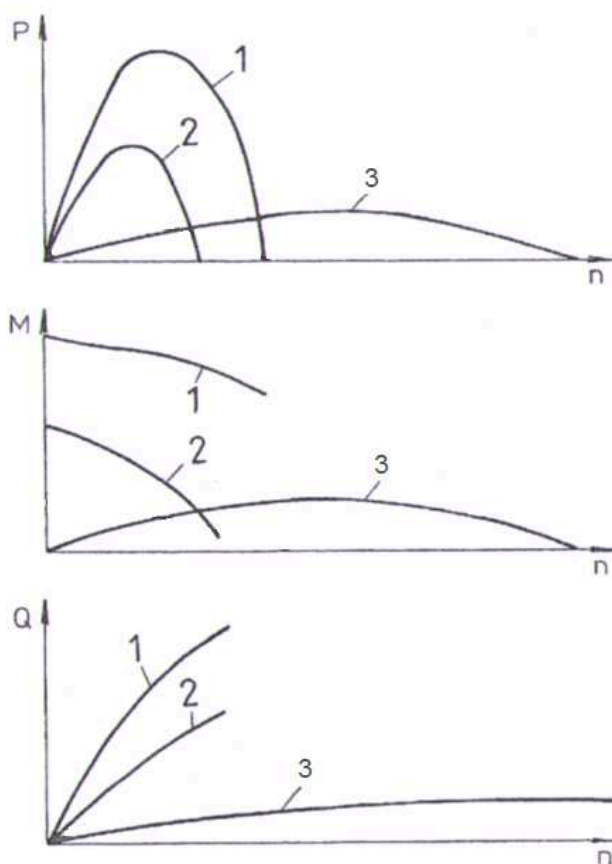
Konstrukce lamelového pneumatického motoru pro oba směry otáčení musí mít vstupní i výfukové otvory souměrné a lopatky musejí být kolmé k ose hřídele [2].

Princip činnosti pneumatického lamelového motoru je na obr. 2.1.3.



Obr. 2.1.3 Princip činnosti pneumatického lamelového motoru

Jak již byly popsány jednotlivé typy pneumatických rotačních motorů, tak se také vyznačují typickými průběhy charakteristik, udávající závislost výkonu, momentu a spotřeby vzduchu na otáčkách, které jsou zobrazeny v obr. 2.1 [2].



Obr. 2.1 Charakteristiky rotačních pneumatických motorů různých typů

1 – zubové motory, 2 – radiální pístové motory, 3 – lamelové motory

2.2. Jejich výhody a nedostatky při srovnání s jinými typy

Pneumatických rotačních motorů se jako hnacích strojů používá velice málo, což je především způsobeno velmi nízkou celkovou energetickou účinností pneumatického pohonu. To také vychází z praktického srovnání běžně používaného elektrického pohonu, popř. hydraulického pohonu s pohonem pneumatickým, přičemž kritériem je poměr výstupního výkonu na hřídeli motoru a vstupního výkonu na svorkách elektromotoru. Nebudeme-li předpokládat vložený převod mezi motor a hnací stroj, bude u elektrického pohonu jeho účinnost nejvyšší a je 0,85 až 0,92 [5].

U hydraulického pohonu musíme do energetické bilance zařadit účinnost hnacího elektromotoru, účinnost hydrogenerátoru jako zdroje tlakové energie kapaliny, účinnost rozvodu tlakové energie mezi hydrogenerátorem a hydromotorem a také účinnost samotného hydromotoru. Bude tedy dána účinnost hydraulického pohonu součinem jednotlivých účinností a je 0,7 až 0,75 [5].

U bilance pneumatického pohonu musíme opět počítat s účinností hnacího elektromotoru a s účinností kompresoru jako zdroje tlakové energie vzduchu, s účinností rozvodu a s účinností pneumatického motoru. A taktéž bude dána účinnost pneumatického pohonu součinem jednotlivých účinností a je 0,1 až 0,15 [5].

Tato energetická bilance je poměrně zjednodušená a nepřihlíží např. k tomu, že uvedená účinnost elektrického pohonu je vztažena na běžný pohon s asynchronním elektromotorem bez možnosti regulace otáček, zatímco hydraulický a pneumatický pohon při uvedené nižší účinnosti umožňuje plynulou regulaci otáček ve velkém rozsahu, popř. použitím vysokomomentového hydromotoru přímý pohon stroje, aniž je nutné použít převodovky, nezbytné u elektrického pohonu. To samé platí o možnosti regulace otáček a trvalé práci motoru v oblasti nízkých pracovních hodnot i o pneumatickém pohonu [5].

Možnost použití elektrického, hydraulického a pneumatického pohonu daného stroje či zařízení je nutno posuzovat z větších hledisek a přitom vycházet z vlastností jednotlivých typů motorů, které jsou dány jejich výhodami a nevýhodami [5].

Dále se budu zabývat pneumatickými motory a jejich aplikacemi, uvádím zde jejich výhody a nevýhody, a to ve srovnání s pohonem elektrickým či s pohonem hydraulickým.

Jedná se zejména o tyto výhody pneumatického pohonu:

- jednoduchost konstrukce motoru, také ovládacích a řídicích prvků a nízké nároky na jakost obrobení materiálu,
- jednoduchost obsluhy a spolehlivost provozu,
- možnost provozu v prostředí prашném nebo s nebezpečím výbuchu, vlhkém až mokřém nebo pod vodou a v prostředí s korozivními účinky,
- necitlivé na kolísání teploty, bez nebezpečí výbuchu,
- možnost akumulace energie, tlumení rázů a kmitání v systému pohonu,
- necitlivost na rázy v rozvodném systému tlakové energie a také na rázy od poháněného mechanismu,
- schopnost trvale přenášet maximální přetížení až k úplnému zastavení pohonu bez potřeby zvláštního pojistného zařízení a bez nebezpečí zničení pohonu; motor se přitom nezahřívá a umožňuje okamžitý rozběh, pomine-li přetížení,
- není nutné odpadní potrubí pro vzduch, který předal energii v motoru,
- v uzavřených prostorech (např. hlubinné doly) odpadní vzduch z motoru značně zpřijemňuje ovzduší,
- malé náklady na instalaci, nenáročnost na údržbu,
- hmotnost, zástavbová velikost, která umožňuje výkon pneumatického motoru dle provedení pouze 1/5 nebo 1/3 zástavbové velikosti elektromotoru srovnatelný výkon,
- výkon, který je konstantní s širokým rozsahem otáček a může být tedy optimálně poháněn v širokém poli měnící se zátěže,
- jednoduchá řiditelnost rychlosti změnou průtoku v horní části rozsahu rychlosti,
- použitelnost i při malých znalostech, jednoduchá stavba pneumatického mechanismu a relativně jednoduché bezpečné uvedení do provozu,
- sterilita a spolehlivost [3].

Pneumatický pohon se mnohem lépe přizpůsobuje provozu tlakových mechanismů než jiné druhy motorů, u kterých během vykonávání pracovního cyklu dochází k častým reverzacím, značným změnám zatížení, ke kmitání a vibracím apod. Přitom je pneumatický pohon i velmi vhodný pro automatizaci, neboť stlačeného vzduchu jako nositele energie je možné po příslušné redukci použít i v regulačních a řídicích systémů, a to s použitím opravdu jednoduchých prvků [5].

Hlavním nedostatkem pneumatického motoru je nízká účinnost, kterou jsem již popsal výše. Další nedostatky vyplývají především z nositele tlakové energie (stlačeného vzduchu), vzduch je nutno zbavit nečistot, vlhkostí a nasytit olejovou mlhou, aby se zajistilo mazání pohyblivých částí pneumatických prvků i motoru. Další nedostatek vychází z obtížností přesné regulace otáček a jejich udržování na konstantní hodnotě, což je dáno měkkou charakteristikou motoru. Dále je pneumatickým motorům vytýkána jejich hluchost, což v některých provozech může být překážkou jejich použití. Také vzduchová instalace je 5 krát dražší než elektrická a její udržování je náročné a nákladné [5].

Ve výhodách pneumatického motoru, které byly jmenovány, následně uvedu porovnání pneumatických motorů s ostatními druhy motorů a to s hydraulickým motorem a elektrickým motorem, které uvedu v tab. 2.1 [4].

Tab. 2.1 Porovnání vlastností pneumatických a elektrických motorů

Kritéria	Pneumatické	Hydraulické	Elektrické motory
Moment při rotaci	Plný točivý moment, a to i v klidovém stavu bez spotřeby energie	Plný točivý moment, a to i v klidu, ale v něm zaniká největší spotřeba energie	Malý záběrový moment
Rotační a kývavý pohyb	Pneumomotory s velmi vysokými otáčkami (asi 50 000 ot/min), značné provozní náklady, špatná účinnost, kývavý pohyb do 270°	Hydromotory i s kývavým pohybem a s nižšími otáčkami než u pneumatických motorů (do 6 000 ot/min), dobrá účinnost	Lepší účinnost u rotačních pohonů, omezené otáčky (do 3 000 ot/min)
Řiditelnost	Jednoduchá řiditelnost síly změnou tlaku (regulátory tlaku) a rychlosti změnou průtoku (škrťací ventil, odvětrávací ventil) v horní části rozsahu rychlosti	Velmi dobře řiditelná síla i rychlost, i malé rychlosti dobře nastavitelné servoventily	Jen v omezeném rozsahu a při značných nákladech (měniče frekvence)
Akumulace a přenos energie	Možné až do velkých množství při malé ceně, snadná přeprava potrubím (až do 1 000 m) a tlakovými lahvemi	Akumulace omezená použitím vzduchových nebo pružinových akumulátorů	Akumulace velice obtížná a nákladná, nejčastěji jen malá množství (akumulátory, baterie) naopak snadno přepravitelná i na značné vzdálenosti

Vliv okolního prostředí	Necitlivé na kolísání teploty, bez nebezpečí výbuchu, při vysoké vlhkosti vzduchu, nízké teplotě okolí a expanzi nebezpečí zamrzání	Citlivé na kolísání teploty, při netěsnostech znečišťování a nebezpečí požárů	Necitlivé na kolísání teploty, ale omezena maximální povolená teplota (nejčastěji max. 80°C), v prostředí s nebezpečím výbuchu, nutná ochrana proti explozi a požáru
Použitelnost a nasaditelnost	Použitelné i při malých znalostech, stavba a uvedení do provozu relativně jednoduché a bezpečné	Obtížnější než u pneumatiky, neboť používá vysokých tlaků, nutná sběrná a zpětná potrubí	Jen při odborných znalostech, nebezpečí úrazů, při chybném zapojení často zničení přístrojů nebo ovládání
Všeobecně	Prvky jsou bezpečné proti přetížení, při velkých průtocích hlučné odfuky, proto tlumiče	Při vysokých tlacích hluk čerpadla, prvky jsou bezpečné proti přetížení	Prvky nelze přetížít, a nebo pouze při značných nákladech, hluk při spínání stykačů a pohybových elektromagnetů

3. Základní parametry různých typů pneumatických rotačních motorů

Jako základní parametry pneumatických rotačních motorů jsou uvažovány pracovní tlak, výkon, otáčky, moment, spotřeba vzduchu a také specifická spotřeba vzduchu, které jsou například dále vypsány pro různé typy motorů, jako jsou: radiální pístový, lamelový a zubový pneumatický rotační motor z vybraného katalogu firmy.

Následně tyto základní parametry uvedu do tab. 3.1 [7]. Zde uvedené parametry jsem čerpal z firemních katalogů, které v současné době nabízí trh. Jedná se zejména o tyto katalogy firem Parker, Tonson, Düsterloh, Deprag, Koexpro, PD profi, Glentor atd. V tabulce není uveden pneumatický turbínový motor a jeho parametry, protože jeho nabídka na trhu je minimální.

Parametry jednotlivých typů motorů:

1) Radiální pístový pneumatický motor od firmy Parker

Pracovní tlak p : 0,5 MPaVýkon P : 0,0735 ÷ 0,228 kWOtáčky n : 750 ÷ 1 100 min⁻¹Moment M : 0,637 ÷ 2,94 N·mSpotřeba vzduchu Q_N : 0,2 ÷ 0,4 N m³/minSpecifická spotřeba vzduchu q : 1,75 ÷ 2,72 N m³/(min·kW)

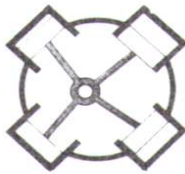
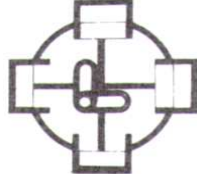


2) Lamelový pneumatický motor od firmy Tonson

Pracovní tlak p : 0,5 MPaVýkon P : 0,33 ÷ 7,8 kWOtáčky n : 2 000 ÷ 10 000 min⁻¹Moment M : 0,31 ÷ 34 N·mSpotřeba vzduchu Q_N : 0,59 ÷ 7,787 N m³/minSpecifická spotřeba vzduchu q : 0,99 ÷ 1,79 N m³/(min·kW)

3) Zubový pneumatický motor od firmy Düsterloh

Pracovní tlak p : 0,8 MPaVýkon P : 6,3 ÷ 28,1 kWOtáčky n : 1 000 ÷ 2 000 min⁻¹Moment M : 60 ÷ 134 N·mSpotřeba vzduchu Q_N : 9 ÷ 32 N m³/minSpecifická spotřeba vzduchu q : 1,14 ÷ 1,4 N m³/(min·kW)

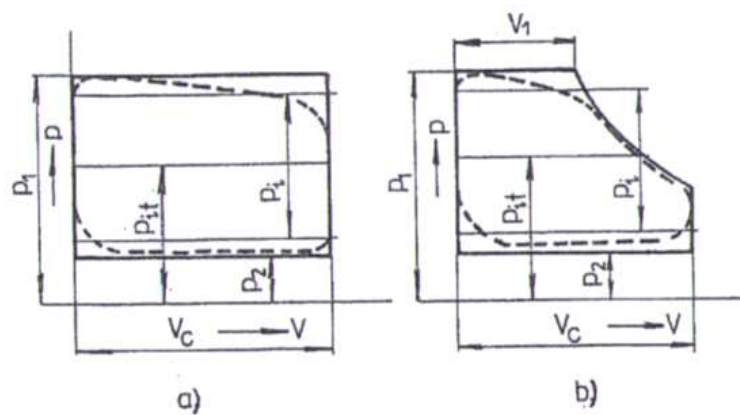
Tab. 3.1 Parametry různých typů pneumatických rotačních motorů

Typ motoru	Objemové			
	Pístové	Kulisové	Lamelové	Zubové
Parametry				
Pracovní tlak MPa	$0,45 \div 0,6$	$0,4 \div 0,6$	$0,4 \div 0,6$	$0,4 \div 0,8$
Výkon kW	$0,07 \div 30$	$0,5 \div 6$	$0,19 \div 8,5$	$3,2 \div 28,1$
Otáčky min^{-1}	$48 \div 1\,300$	$600 \div 1\,500$	$113 \div 15\,000$	$1\,000 \div 3\,000$
Moment $N \cdot m$	$0,637 \div 949$	$10 \div 250$	$0,15 \div 163$	$60 \div 134$
Spotřeba vzduchu $N\,m^3/min$	$0,2 \div 37$	$0,5 \div 30$	$0,59 \div 12$	$9 \div 32$
Specifická spotřeba vzduchu $N\,m^3/(min \cdot kW)$	$1,23 \div 2,86$	$1,25 \div 5$	$1,4 \div 3,1$	$1,2 \div 2,8$

4. Charakteristiky pneumatických rotačních motorů

Vlastnosti pneumatických rotačních motorů při různých pracovních režimech, které potřebujeme znát při návrhu pohonu pro daný stroj či zařízení, nejlépe vystihují různé charakteristiky pneumatických rotačních motorů a jedná se zejména o tyto charakteristiky výkonová, momentová, průtoková a komplexní v závislosti na otáčkách, které dále budou podrobně rozepsány pro tyto typy charakteristik.

Důležitým parametrem práce motoru je tlak vzduchu, ten působí v jeho pracovním prostoru. Jestliže má tento pracovní prostor konečný objem, zobrazí se nám pracovní cyklus v závislosti na tlaku a objemu $p(v)$, tato závislost se nazývá indikátorový diagram, obr. 4.1. Ten může být rozdílný u motoru plnotlakého, obr. 4.1a, kdy je tlakový vzduch o tlaku p_1 přiváděn do pracovního prostoru po celou dobu jeho změny a u motoru s částečnou expanzí, obr. 4.1b, kdy se připouští tlakový vzduch jen z části zdvihu, vyjádřeného objemem V_1 . U motoru tohoto typu se poměr objemu V_1 a V_c vyjadřuje jako stupeň plnění δ a jeho hodnota je v rozmezí 0,45 až 0,7 [2].



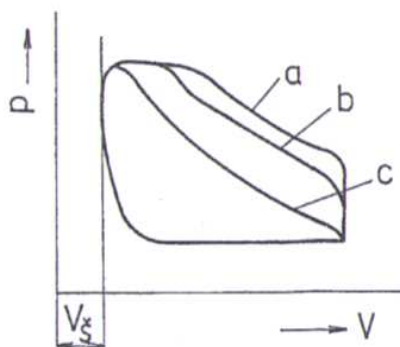
Obr. 4.1 Indikátorový diagram pneumatického motoru

a – plnotlaký motor, b – motor s částečnou expanzí

Hlavní hodnota tlaku pro výpočet parametrů motoru je indikovaný tlak p_i , jehož teoretická hodnota pro běžnou polytropickou expanzi se určí ze vztahu

$$p_{it} = \delta \cdot p_1 \cdot \frac{n - \delta^{n-1}}{n - 1} - p_2 \quad (\text{Pa}) \quad (4.1)$$

kde $n = 1,25$ až $1,32$, kdy nižší hodnoty jsou pro motory lamelové a vyšší hodnota pro motory zubové a pístové. Skutečný indikátorový diagram se od teorie odlišuje, a to jak změnou přímkových průběhů na křivkové se zaoblením v přechodových úsecích změny tlaku, obr. 4.1, to způsobuje práci vzduchu při naplňování a vyprazdňování pracovních prostorů. Další změna indikátorového diagramu je dána škodlivým prostorem v motoru V_s , obr. 4.2, což je objem přívodních kanálů v rozvodu, u pístového motoru také objemem mezi horní úvratí pístu a rozvodným šoupátkem. Vliv na tvar indikátorového diagramu mohou mít také otáčky [2].



Obr. 4.2 Skutečný indikátorový diagram pneumatického motoru při různých otáčkách

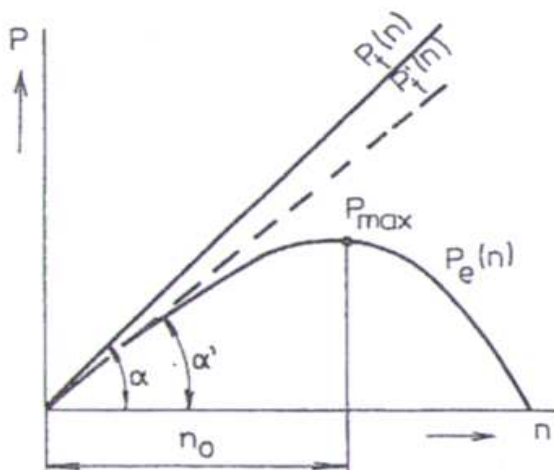
$$n_a < n_b < n_c$$

4.1. Závislost výkonu na otáčkách

Teoretický výkon je dán vztahem

$$P_t = V_g \cdot n_M \cdot p_{it} \quad (\text{W}) \quad (4.2)$$

kde n jsou otáčky pneumatického motoru, V_g je geometrický objem motoru a p_{it} je indikovaný tlak. Pro určitý motor je $V_g = \text{konst.}$ a tedy závislost teoretického výkonu na otáčkách při vstupním tlaku $p_l = \text{konst.}$ a tím i teoretickém indikovaném tlaku $p_{it} = \text{konst.}$ bude přímka, která vychází z počátku souřadnic a má sklon k ose otáček pod daný úhlem $\alpha = V_g \cdot p_{it}$, obr. 4.3 [2].



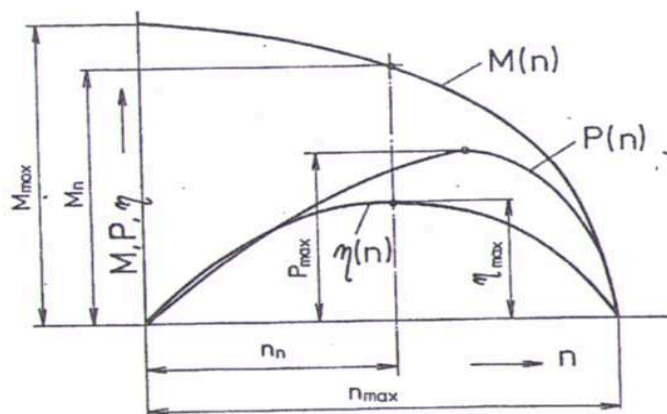
Obr. 4.3 Výkonová charakteristika pneumatického motoru

4.2. Závislost momentu na otáčkách

Teoretický moment je dán vztahem

$$M_t = \frac{p_i \cdot V_g}{2 \cdot \pi} \quad (\text{N} \cdot \text{m}) \quad (4.3)$$

kde p_i je střední indikovaný tlak a V_g je geometrický objem pracovních prostorů motoru, který je vztažený na jednu otáčku. Protože ve vztahu pro moment je vidět nezávislost momentu na otáčkách, bude v grafickém vyjádření momentové charakteristiky teoretický moment M_t dán přímkou, obr. 4.4 [2].



Obr. 4.4 Momentová charakteristika pneumatického motoru

4.3. Závislost spotřeby vzduchu na otáčkách

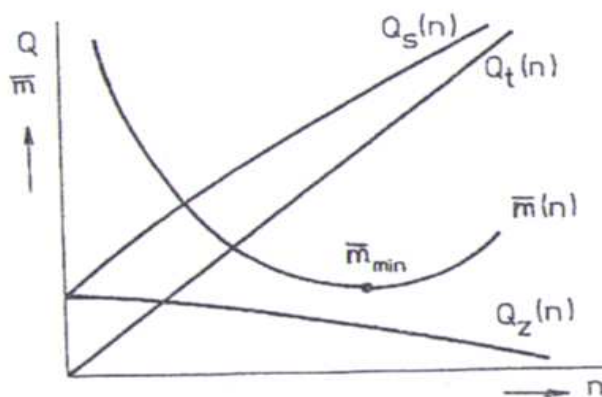
Teoretická spotřeba vzduchu je dána vztahem

$$Q_t = V_g \cdot n_M \cdot \delta \quad (\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}) \quad (4.4)$$

a teoretická spotřeba vzduchu přepočtená na nasávaný tlak je dána vztahem

$$Q_m = V_g \cdot n \cdot \delta \cdot \frac{p_1}{p_{abs}} \quad (\text{N m}^3 \cdot \text{min}^{-1}) \quad (4.5)$$

kde V_g je geometrický objem motoru, n jsou otáčky motoru a δ jako stupeň plnění. Při $p_{it} = p = \text{konst.}$ bude platit přímá úměrnost mezi teoretickou spotřebou a teoretickým výkonem $Q_t \approx P_t$ a v grafické závislosti $Q(n)$ to bude opět přímka, obr. 4.5 [2].



Obr. 4.5 Průtoková charakteristika pneumatického motoru

Pro porovnání různých pneumatických motorů a také vyjádření stupně jejich opotřebení se používá tzv. specifická spotřeba vzduchu q , tj. celková spotřeba vzduchu vztažená na jednu kW přenášeného výkonu motorem. Její závislost na otáčkách motoru má výrazné minimum, obr. 4.5 [3].

Specifická spotřeba vzduchu se určí vztahem

$$q = \frac{Q_{SN}}{P_S} \quad (\text{N m}^3 \cdot \text{kW}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}) \quad (4.6)$$

kde Q_{SN} je skutečná spotřeba vzduchu motoru po přepočtu na nasávaný tlak s uvažováním objemových ztrát rozsahu 3 až 15 % a P_S je skutečný výkon motoru [2].

Následně jsou tyto uvedené charakteristiky: výkonové, momentové a průtokové, doplněny o jejich skutečnou hodnotu s uvažováním s jejich účinností a jsou uvedeny jejich jednotlivé vzorce pro výpočet skutečné hodnoty.

Skutečný výkon motoru

$$P_S = V_g \cdot n_M \cdot \eta_c \quad (\text{kW}) \quad (4.7)$$

Skutečný moment motoru

$$M_t = \frac{p_i \cdot V_g}{2 \cdot \pi} \cdot \eta_m \quad (\text{N} \cdot \text{m}) \quad (4.8)$$

Skutečná spotřeba motoru

$$Q_{SN} = V_g \cdot n \cdot \delta \cdot \frac{p_1}{p_{abs}} \cdot \frac{1}{\eta_Q} \quad (\text{N m}^3 \cdot \text{min}^{-1}) \quad (4.9)$$

Z těchto účinností, které jsem přiřadil k jednotlivým vzorcům lze lépe určit jen mechanickou účinnost, a to:

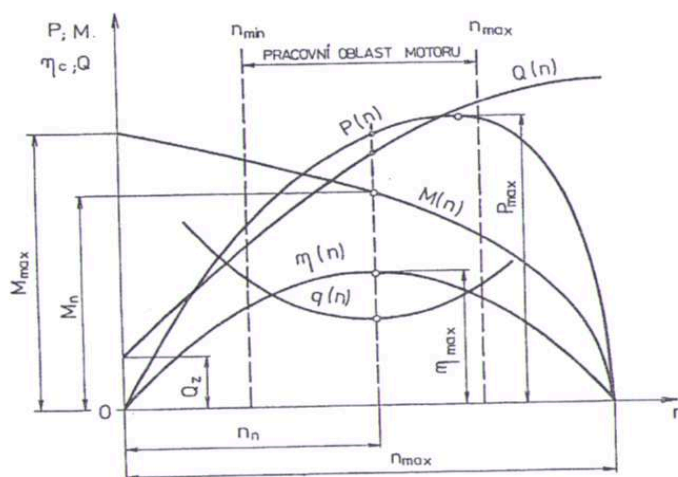
- pro pneumatické pístové motory $\eta_m = 0,85$ až $0,9$,
- pro pneumatické zubové motory $\eta_m = 0,9$ až $0,95$,
- pro pneumatické lamelové motory $\eta_m = 0,8$ až $0,9$ [3].

4.4. Komplexní charakteristika

Charakteristika pneumatického motoru, která znázorňuje závislost momentu, výkonu, spotřeby vzduchu, účinnosti a specifické spotřeby na otáčkách při vstupním tlaku vzduchu $p_1 = konst.$ je znázorněna na obr. 4.6 [2].

Výkon pneumatického motoru v závislosti na otáčkách $P(n)$ je znázorněn parabolickou křivkou s počátkem v průsečíku souřadnic a s maximální hodnotou, která se dalším zvyšováním otáček znovu přibližuje nule. Točivý moment $M(n)$ má maximální hodnotu při nulových (nebo blížících k nule) otáčkách a jejich navyšováním se hodnota momentu snižuje [2].

Průběh účinnosti motoru na otáčkách $\eta(n)$ má znovu maximum, ke kterému, jak je možné i v jiných strojích, vztahujeme jmenovité hodnoty ostatních parametrů, tyto parametry jsou n_n , p_n , M_n , Q_n . Z obr. 4.6 je patrné, že bod maximálního výkonu P_{max} leží trochu vpravo od bodu jmenovitého výkonu, přičemž dosahuje nejlepších ekonomických parametrů motoru. Při maximálním výkonu se naopak dosahuje nejlepších technických parametrů motoru [2].



Obr. 4.6 Komplexní charakteristika pneumatického motoru

Velmi důležitým parametrem pneumatických rotačních motorů je geometrický objem, který se určí pro každý typ motoru jinak, a proto dále bude uvedeno pro každý typ motoru vzorec pro výpočet geometrického objemu.

Radiální pístový pneumatický rotační motor:

$$V_g = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot H \cdot z \quad (\text{m}^3) \quad (4.10)$$

kde značí D průměr pístu, H zdvih pístu a z počet válců [2].

Zubový pneumatický rotační motor:

$$V_g = \pi \cdot D \cdot 2 \cdot m \cdot L \quad (\text{m}^3) \quad (4.11)$$

kde značí D roztečný průměr ozubeného kola, m modul ozubení a L délku rotoru [2].

Lamelový pneumatický rotační motor:

$$V_g = 4 \cdot L \cdot e \cdot R \cdot \sin \frac{\beta}{2} \cdot z \cdot \lambda \quad (\text{m}^3) \quad (4.12)$$

kde L je délka rotoru, $e = R - r$ je excentricita, $\beta/2$ je poloviční úhel mezi sousedními lamelami, R je poloměr statoru a r je poloměr rotoru, z je počet lamel, a je jejich tloušťka a λ je opravný součinitel vyjadřující vliv tloušťky lamel, který je dán vztahem

$$\lambda = 1 - \frac{a \cdot z}{2 \cdot \pi \cdot R} \quad (-) \quad (4.13)$$

Tento vliv můžeme také vyjádřit hodnotami $\lambda = 0,88$ až $0,92$, kde větší hodnota je pro $z > 5$ a $R > 20 \text{ mm}$ [2].

5. Aplikace pneumatických rotačních motorů

V této kapitole se chci dále zabývat různými aplikacemi pneumatických rotačních motorů, které doplním jednotlivými obrázky z této problematiky. Tyto obrázky jsem čerpal z jednotlivých firemních katalogů, odborných knih zabývajících se danou problematikou, časopisů apod.

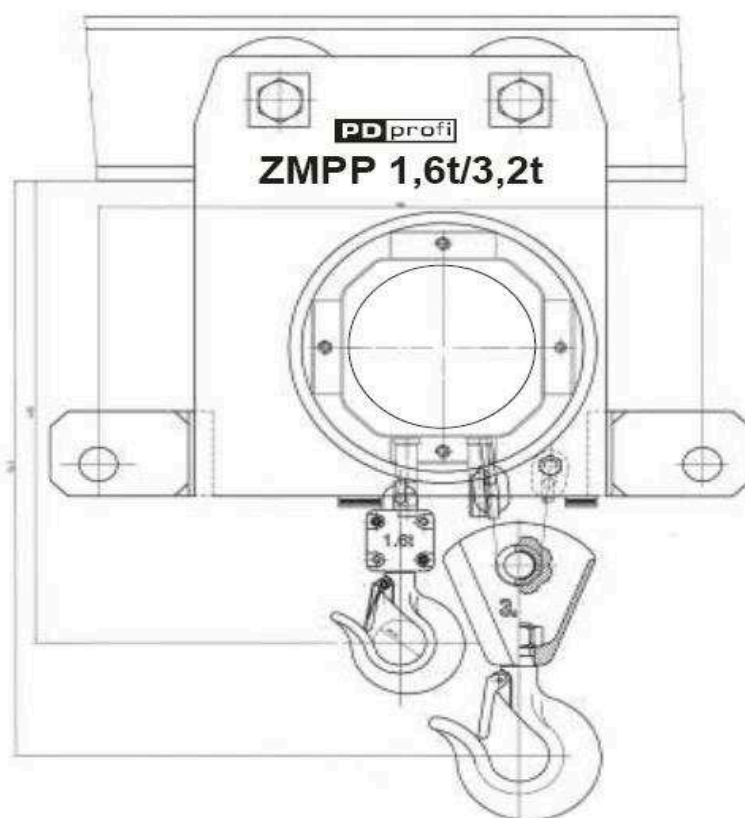
Pneumatické rotační motory mají velmi široké spektrum použití ve všech průmyslových odvětvích, a to:

- lékařská technika,
- farmaceutický průmysl,
- potravinářský průmysl,
- lodářství,
- použití pod vodou,
- papírenský průmysl,
- slévárny,
- hutě,
- elektrárny,
- strojírenství,
- automobilový průmysl,
- chemický průmysl,
- pneumatické nářadí.

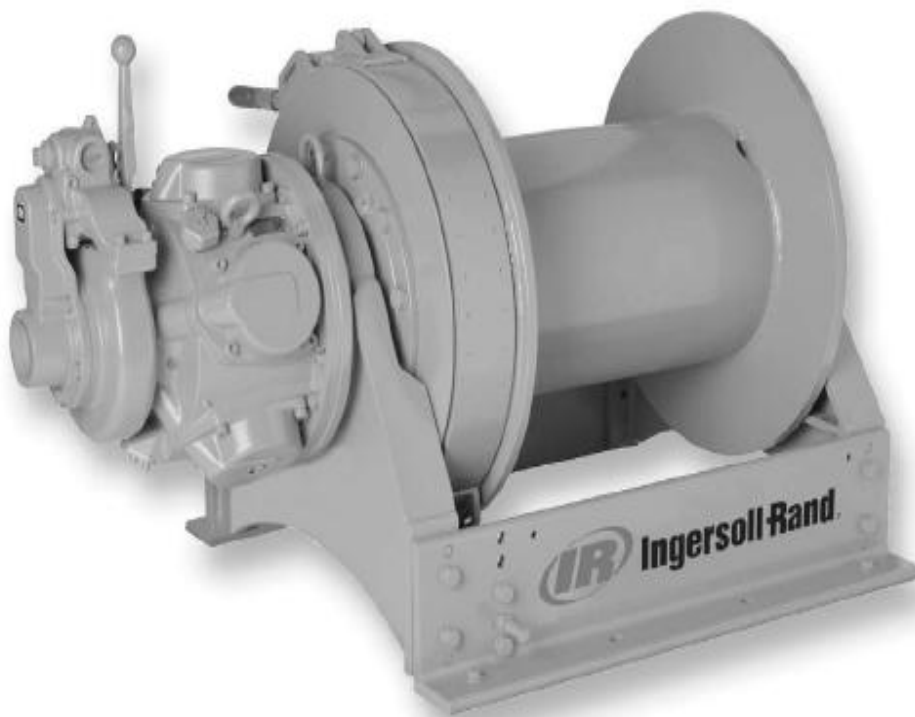
5.1. Podle typů motorů

V tomto bodu rozdělím jednotlivé aplikace pneumatických rotačních motorů podle jednotlivých typů motorů a to: pístové, zubové a lamelové pneumatické rotační motory, které doplním obrazovou přílohou.

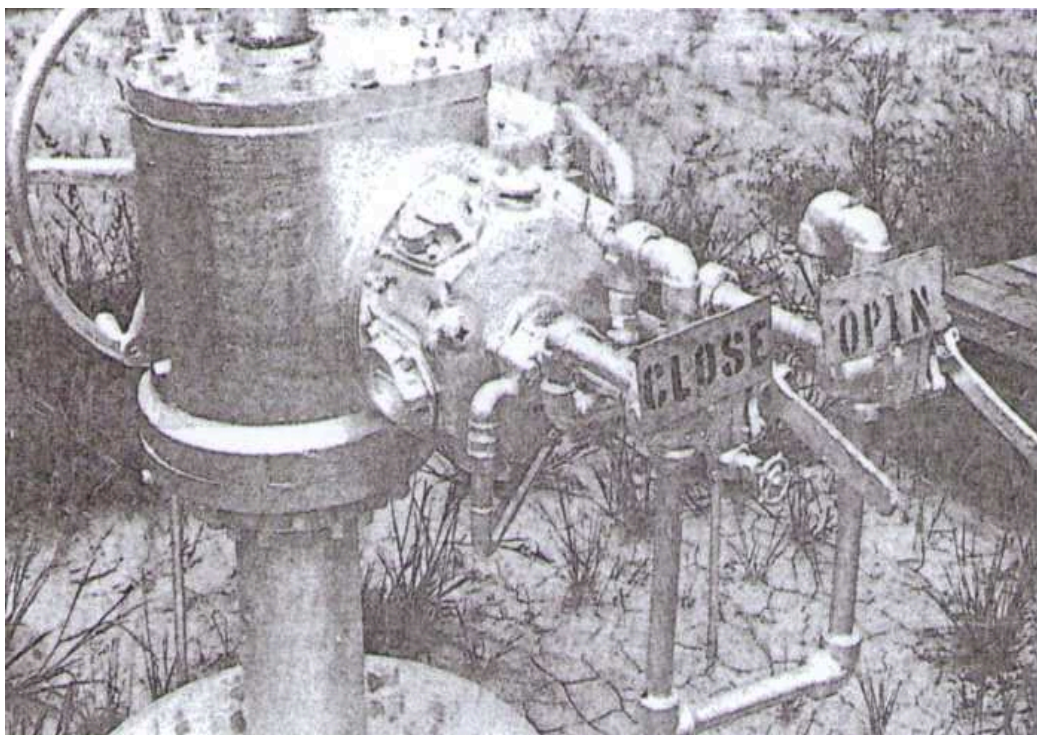
Jako první uvedu aplikace **pístových** pneumatických rotačních motorů, parametry těchto pístových motorů jsem uvedl v tab. 3.1. Aplikace těchto motorů jsou znázorněny na následujících obrázcích, obr. 5.1 [15], obr. 5.2 [18], obr. 5.3.



Obr. 5.1 Pojízdné manipulační zařízení od firmy PD profi



Obr. 5.2 Vrátek od firmy Ingersoll Rand



Obr. 5.3 Pístový motor sloužící k ovládání ventilu na plynové potrubí

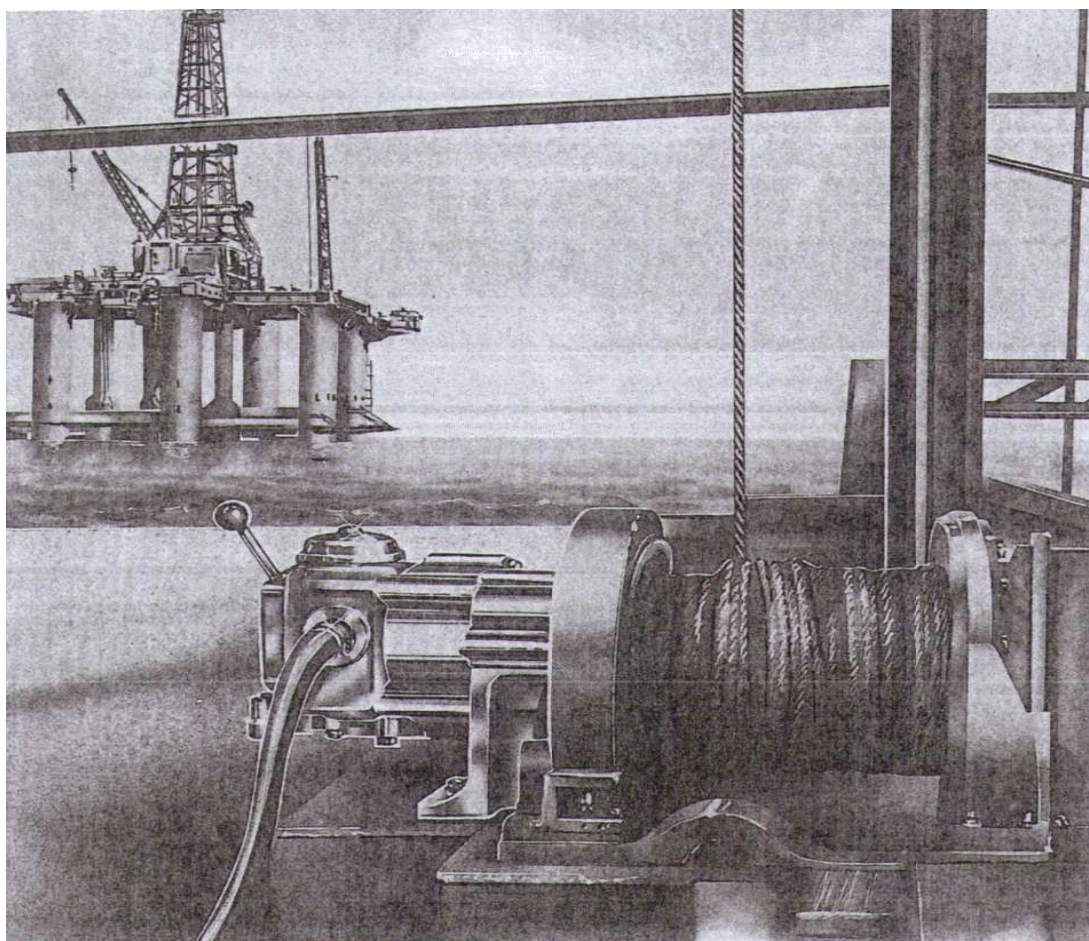
Další uvedu aplikace **zubových** pneumatických rotačních motorů, parametry těchto zubových motorů jsem uvedl v tab. 3.1. Aplikace těchto motorů jsou znázorněny na následujících obrázcích, obr. 5.4 [17], obr. 5.5 [14], obr. 5.6.



Obr. 5.4 Manipulační zařízení od firmy Ingersoll Rand



Obr. 5.5 Vrátek od firmy Koexpro



Obr. 5.6 Zubový motor pohánějící vrátek

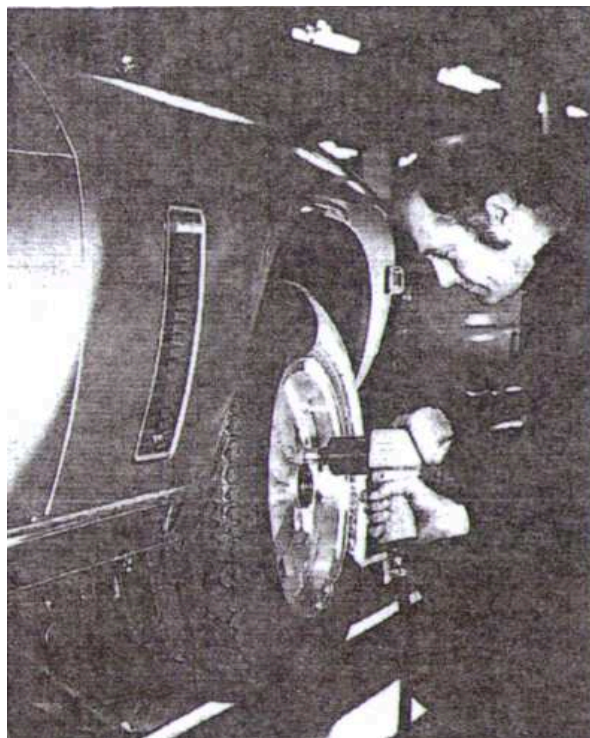
Jako poslední uvedu aplikace **lamelových** pneumatických rotačních motorů, parametry těchto lamelových motorů jsem uvedl v tab. 3.1. Uplatnění těchto motorů má největší použití než u předchozích typů motorů. Aplikace jsou znázorněny na následujících obrázcích, obr. 5.7 [13], obr. 5.8 [15], obr. 5.9 [11].



Obr. 5.7 Míchačka od firmy Koexpro



Obr. 5.8 Řetězová pila od firmy PD profi



Obr. 5.9 Použití šroubového utahováku v automobilovém průmyslu

5.2. Podle strojů a zařízení

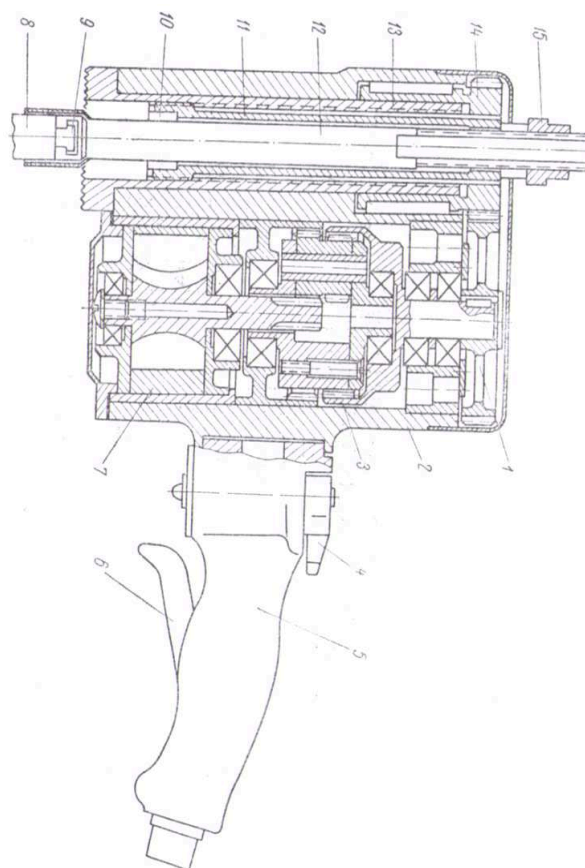
Aplikace pneumatických rotačních motorů podle strojů a zařízení, které pohání pneumatický rotační motor, se používají v:

- stroje na tavení hliníku,
- vratidla,
- páskové jednotky,
- vtahovací systémy,
- cementové míchačky,
- pumpy na beton,
- ohýbačky,
- vrtačky, obr. 5.10 [13], obr. 5.11 [9],
- drtič,
- vrtačky studní,
- chemické míchadla,
- kulaté stoly,
- hnací pohony,
- pásové dopravníky,

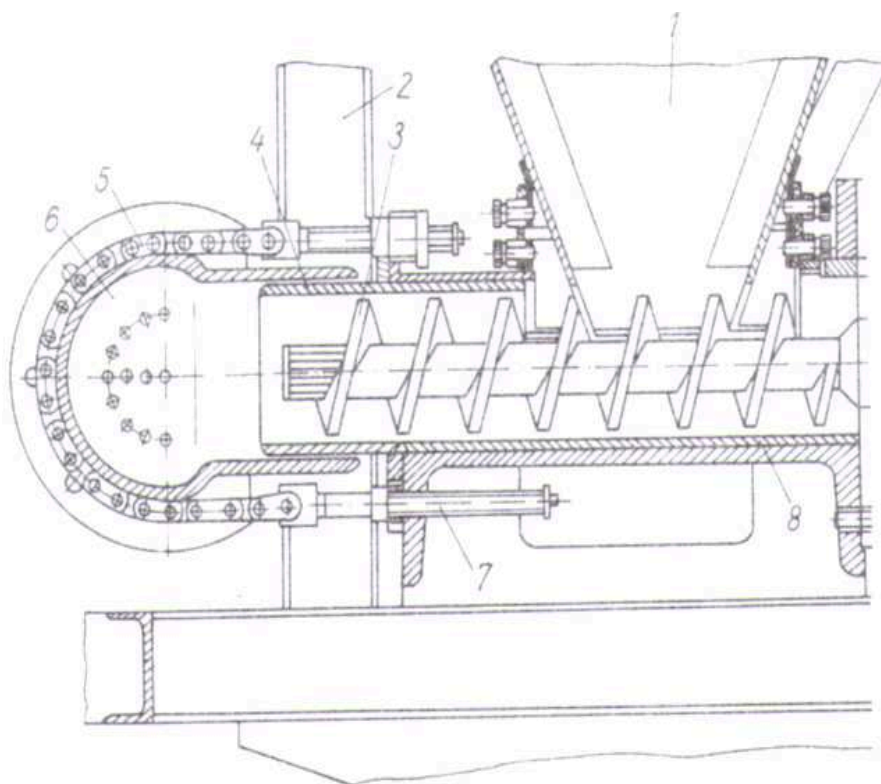
- dopravní jednotky, obr. 5.12 [8],
- navíjecí pohony,
- nakládače,
- navijáky,
- pohony chladicích kompresorů,
- lokomotivy,
- pilotní kladkostroje, obr. 5.13,
- pohony ventilátorů,
- směšovací jednotky,
- papírenské stroje,
- pohony čerpadel,
- pásová vozidla,
- mísiče surového železa,
- lodní navijáky,
- servopohony,
- startéry,
- brusky, obr. 5.14, obr. 5.15 [9],
- vrátky, obr. 5.16 [8],
- šroubováky, obr. 5.17 [10],
- utahováky, obr. 5.18 [9], obr. 5.19 [15],
- transportéry, obr. 5.20 [8],
- stříhačky, obr. 5.21 [16], obr. 5.22 [8],
- frézky apod.



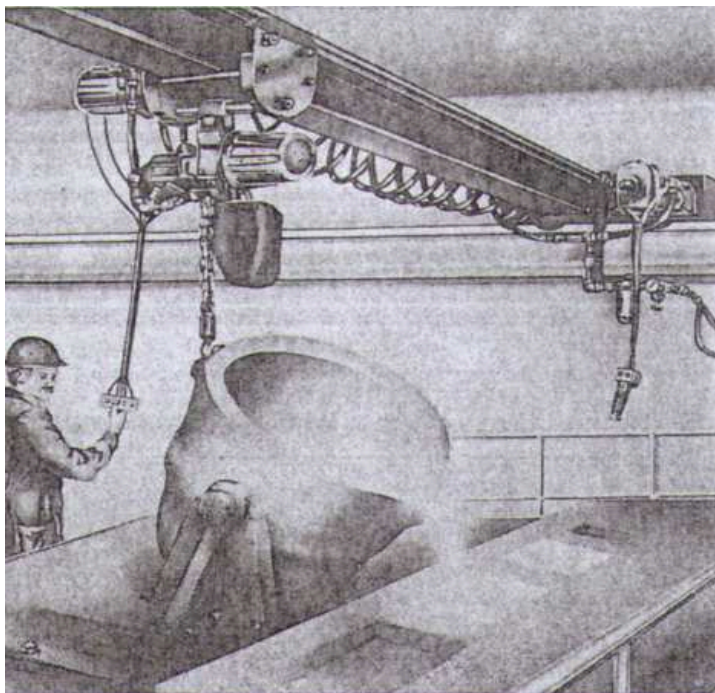
Obr. 5.10 Rohová vrtačka od firmy Koexpro



Obr. 5.11 Řez rohovou vrtačkou s lamelovým motorem



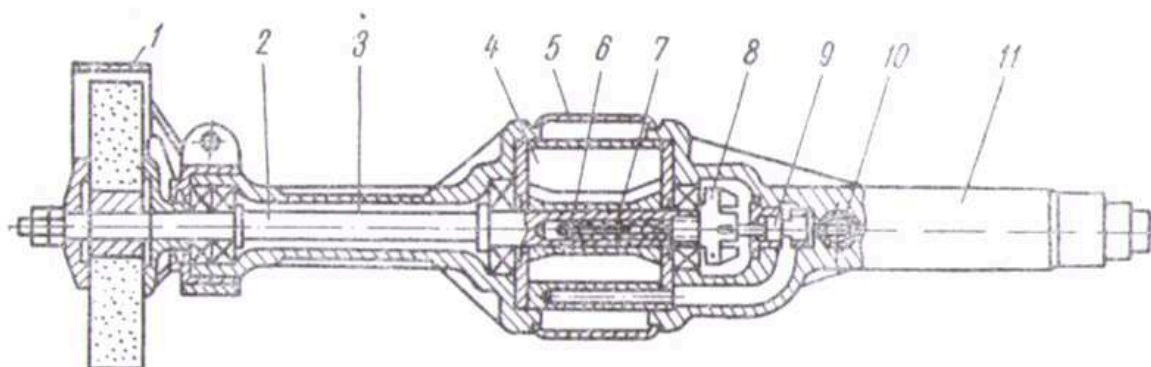
Obr. 5.12 Řez dopravní jednotkou poháněnou pneumatickým motorem



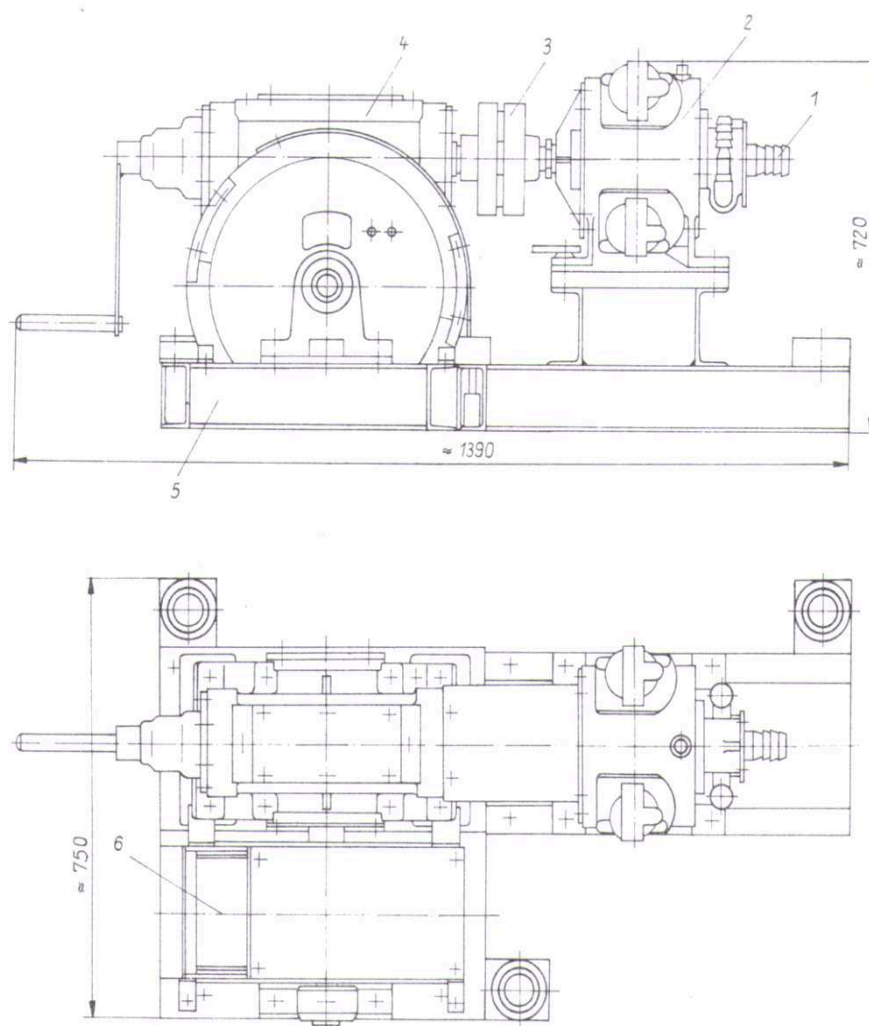
Obr. 5.13 Pilotní kladkostroj



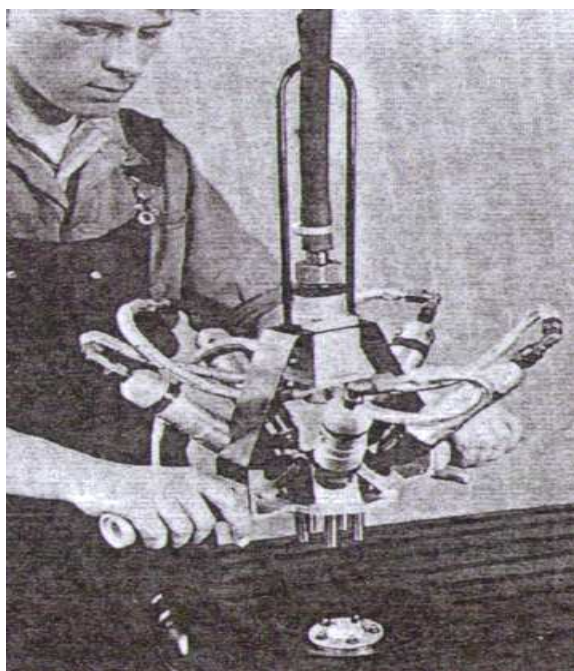
Obr. 5.14 Brusky od firmy Glentor



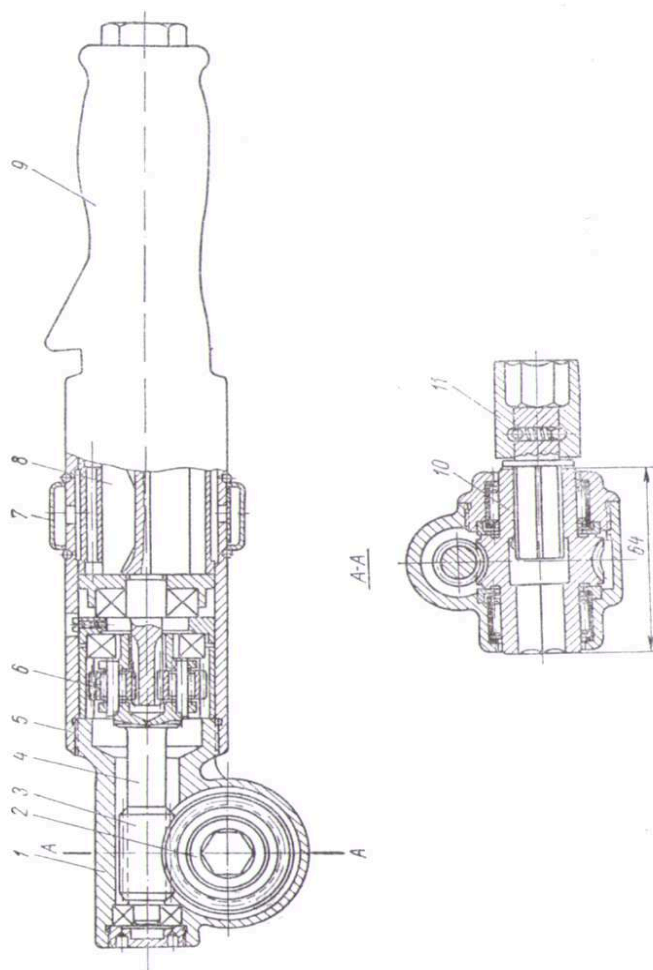
Obr. 5.15 Řez brusky s lamelovým motorem



Obr. 5.16 Schematické znázornění vrátku s pneumatickým pohonem



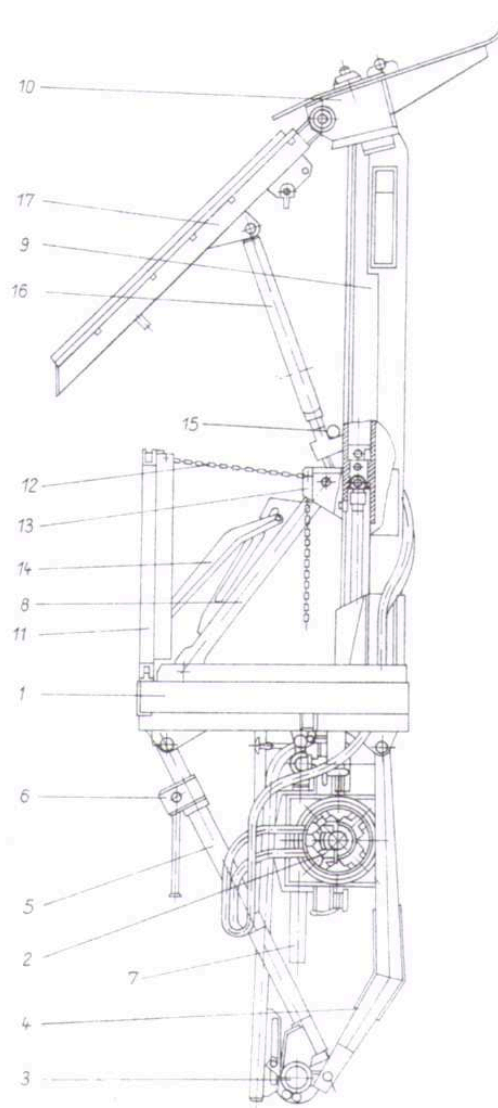
Obr. 5.17 Použití více pneumatických šroubováků



Obr. 5.18 Řez utahováku s lamelovým motorem



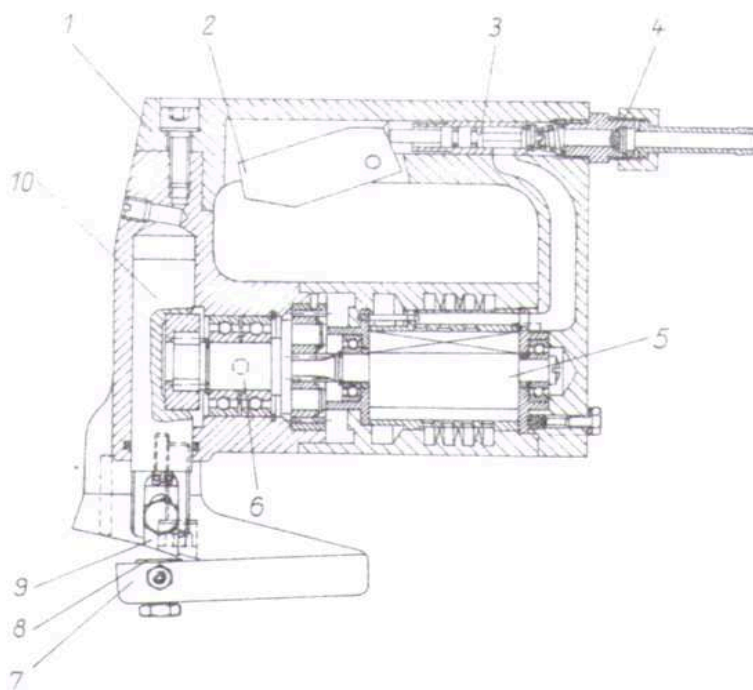
Obr. 5.19 Utahovák od firmy PD profi



Obr. 5.20 Transportér využívající k pohonu pístový motor



Obr. 5.21 Nůžky od firmy Deprag



Obr. 5.22 Řez nůžek s lamelovým motorem

Jak již jsem výše v této kapitole uvedl různé aplikace pneumatických rotačních motorů, tak jejich využití je obrovského rozsahu a neustále se nového využití vymýšlí a proto nelze tuto problematiku podrobněji zpracovat.

6. Závěr

Cílem mé bakalářské práce bylo vypracovat souhrnnou studii o uplatnění pneumatických rotačních motorů v pohonech strojů a zařízení. Všechny body osnovy zadání jsou splněny a vypracovány za dozoru mého vedoucího bakalářské práce pana prof. Ing. Jaroslava Kopáčka, CSc. Vypracováním této bakalářské práce jsem si osvojil techniku úpravy dokumentů v elektronické podobě, nejen práci v programu Word, ale i shánění informací k danému tématu v knihovně a na internetu. Tato práce mi přinesla rozsáhlé znalosti z oblasti pneumatických rotačních motorů. Překvapilo mě také jak je široké využití těchto motorů ve většině oblastí průmyslu. V této práci jsem řešil hlavně nejmodernější technologie pneumatických rotačních motorů a bral v potaz, co v současné době může nabídnout trh.

7. Seznam použité literatury

- [1] KOPÁČEK, J. *Pohony a převody*. 1. vyd. Ostrava: skripta VŠB-TU, 2000. 221 s. ISB 80-7078-806-2
- [2] KOPÁČEK, J. *Pneumatické mechanismy. D1. Pneumatické prvky a systémy*. 1. vyd. Ostrava: skripta VŠB-TU, 2000. 267 s. ISBN 978-80-248-0879-6
- [3] PIVOŇKA, J. *Tekutinové mechanismy*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1987. 624 s. ISBN 04-225-87
- [4] KOPÁČEK, J., Žáček, M. *Pneumatická zařízení strojů*. 1. vyd. Ostrava: skripta VŠB-TU, 2008. 94 s. ISBN 978-80-248-0442-2
- [5] KOPÁČEK, Jaroslav. *Pneumatické motory - jejich možnosti a využití*. Časopis Strojírenská výroba, roč. 1975, č. 1, s. 37-42.
- [6] ZOEBL, Heinz. *Pneumatické stroje a přístroje*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1965. 260 s.
- [7] *Pneumatik-Kompendium*. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1977. 242 s. ISBN 3-18-400379-5
- [8] *Handbuch der Drucklufttechnik*. VEB Leipzig, 1986. 324 s. ISBN 3-342-00079-1
- [9] *Пневматические ручные машины: справочник*. Moskva: Машиностроение, 1968. 375 s.
- [10] ENGEL, Ludolf. *Druckluft handbuch*. Vulkan Verlag, 1971. 601 s.
- [11] *Pneumatichandbook*. 4. vyd. Velká Británie. 650 s. ISBN 0-85461-056-1
- [12] Firemní katalogy Cleco, Düsterloh, Parker, Tonson
- [13] Koexpro [online]. 2012 [cit. 2012-04-30] Pneumatické nářadí. Dostupné z WWW: <http://www.koexpro.cz/new/koex/soubory/cz/katalog_pneumatickenaradi.pdf>
- [14] Koexpro [online]. 2012 [cit. 2012-04-30] Těžní vrátek. Dostupné z WWW: <<http://www.koexpro.cz/new/koex/?menu=katalog&lang=cz&id=181&sub=231&sub2=44>>
- [15] PD profi [online]. 2012 [cit. 2012-04-30] Katalog PD profi. Dostupné z WWW: <http://www.pdprofi.cz/images/katalog_PD_profi.pdf>
- [16] Deprag [online]. 2012 [cit. 2012-04-30] Katalog Deprag. Dostupné z WWW: <http://www.depragindustrial.de/prezent/DI_cz.pdf>
- [17] Ingersoll Rand [online]. 2012 [cit. 2012-04-30] Zvedací zařízení. Dostupné z WWW: <http://fileserver.ingersollrand.com/DocumentLibrary/IRITS-0709-066_ILE_catalog.pdf>
- [18] Ingersoll Rand [online]. 2012 [cit. 2012-04-30] Vrátky. Dostupné z WWW: <http://fileserver.ingersollrand.com/DocumentLibrary/MHD55199_grayscale.pdf>

Poděkování:

Tímto bych chtěl poděkovat mému vedoucímu bakalářské práce panu prof. Ing. Jaroslavu Kopáčkovi, CSc. za jeho odborné připomínky, odborný výklad a pomoc při vypracování mé bakalářské práce.